

リハビリ訓練を支援するシリアスゲームの科学的な効果検証

九州大学大学院 芸術工学研究院 デザイン人間科学部門

教授 樋口 重和

共同研究者

九州大学大学院 統合新領域学府ユーザー感性学専攻 博士後期課程 財津 康輔

九州大学大学院 芸術工学研究院コンテンツクリエイティブ部門 講師 松隈 浩之

特定医療法人順和 長尾病院

理学療法士 林田 健太

はじめに

娯楽以外の目的（教育、医療、福祉など）で開発されたデジタルゲームをシリアスゲーム（Serious Game: SG）と呼び、近年その効果や可能性が注目されている¹⁾。しかしながら、様々な分野でシリアスゲームへの期待が高まる一方で、その効果に関する科学的エビデンスは決して十分とは言えない。特に、医療や福祉の分野ではエビデンスに基づく医療の考えが定着しており、シリアスゲームのこの分野への応用を考えると、エビデンスの蓄積は重要な課題と言える。

リハビリテーション分野や高齢者の健康増進分野は、シリアスゲームの導入が最も期待できる分野のひとつである²⁾。例えば、脳卒中患者にとってリハビリ訓練は欠かすことの出来ない大事なものであるが、訓練の中には単調で苦痛を伴ったり、動機付けの維持が難しかったりするものも少なくない。具体的な例として「起立－着席運動」がある。この訓練は、椅子に座った状態から起立と着席を繰り返すというものであり、下肢部筋力の維持と関連し、健康寿命延伸のために必須とされる回復訓練である。シリアスゲームの導入は、単調なリハビリ訓練への動機付けや、精神的な苦痛の緩和に有効に作用することが期待される。本研究では起立－着席運動を支援するために独自に制作されたシリアスゲーム「樹立の森リハビリウム」を用いた³⁾。今まで、健常者の娯楽目的のために制作された市販のゲーム機器やソフトをリハビリ訓練に利用するには限界があったため、リハビリ訓練専用のシリアスゲームの開発が求められていた。今回用いたゲームは、実際のリハビリテーション病院との連携の中で、現場のニーズに合わせて開発されたものである。

本研究では、リハビリ訓練用に開発されたシリアスゲームの効果をふたつの側面から検証した。ひとつ目は、シリアスゲームを実際に実施している人を対象とし、シリアスゲームを用いた起立－着席訓練が、訓練中の生理および心理的負担と訓練後の気分へ及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。特に、シリアスゲームの使用が起立－着席訓練で必要とされる身体的負荷を減じることなく、心理的な苦痛をやわらげることができるかどうかに着目し

た。二つ目の実験では、シリアスゲームを周りで観察する人への効果について検証した。近年、ヒトの脳に存在するミラーシステムが注目されている⁴⁾。ミラーシステムは、自分がある行為を実行する時に活動する脳部位の中で、他者の同じ動作を観察しただけでも活動する脳部位のことであり、他人の動作や感情の理解に重要な役割を果たしていると考えられている。つまり、二つ目の実験では、シリアスゲームを用いて起立訓練を行う人の姿を観察した際の脳活動をミラーシステムの視点で明らかにすることを目的とした。

方 法

実験 1（起立－着席運動時の生理および心理的な影響）

インフォームドコンセントが得られた健康な男子大学生12名（21歳～24歳）を対象に実験室実験を行った。実験は、シリアスゲームを使用して起立－着席運動を行う条件（SG有り）と、シリアスゲームを使用せずに起立－着席運動を行う条件（SG無し）の2条件で行われた（図1）。起立－着席回数はどちらも200回とした。1回の起立－着席動作に要する時間は、約3秒を目安に被験者の任意のペースとした。起立－着席運動時の生理指標として、心拍数、総酸素摂取量および総二酸化炭素排出量、筋電図（大腿直筋・前頸骨筋）の測定を行った。また、客観的な心理ストレスの指標として、起立－着席運動前後の唾液から唾液中コルチゾール濃度の測定も行った。主観的な心理指標としては、起立－着席運動中は、主観的疲労感（RPE: rating of perceived exertion）の測定を40回毎に実施し、起立－着席運動の前後には気分プロフィール検査短縮版（POMS: Profile of Mood States）を実施した。また、各回数（40・80・120・160・200）への到達時間も記録した。データの統計解析には反復測定の分散分析または対応のあるt検定を用いた。

実験 2（起立－着席運動を観察したときの脳波）

インフォームドコンセントが得られた健康な右利きの男子大学生18名（19～24歳）を被験者とした。被験者には、他者がシリアスゲームを使って起立－着席運動を実施している映像（SG有り）とシリアスゲームを使わずに起立－着席運動を行っている映像（SG無し）を観察させた（図2）。観察前の安静時の脳波（60秒）と観察中の脳波（60秒）を測定した。脳波の測定には64chの電極が付いたセンサーキャップ（HydrocelGS64, INC）と脳波計および専用の解析ソフト（NetStation4.1.2, INC）を用いた。脳波はFFTによって周波数解析され、 α 波帯域（10～12Hz）のパワー値が求められた。また、64chのデータは10箇所に分けられ（一箇所当たり3～7個の電極）、それぞれ左前頭部（LF）、正中前頭部（MF）、右前頭部（RF）、左中心部（LC）、正中中心部（MC）、右中心部（RC）、左頭頂部（LP）、正中頭頂部（MP）、右頭頂部（RP）、後頭部（MO）とした。各部位の脳活動の指標として、安静時の α 波パワー値を基準に、観察時にどの程度 α 波パワー値が変化したかを調べた（この場合、 α 波パワー値の減少が脳の活動の増加の指標となる）。他者の動作を観察した際に、中心部で生じる α 波帯域パワー値の抑制は運動感覚野の活動を反映しており、ミラーシステムとの関連が報告されている^{5)～8)}。



図1. 実験1の実験風景（生理データを測定しながらシリアスゲームを使って起立-着席運動を実行している様子）



図2. 実験2の実験風景（脳波を測定しながら他者が起立-着席運動を行っている映像を観察している様子）

結 果

起立-着席運動時の生理および心理的な影響

起立-着席運動中の心拍数は回数が増えるにつれて有意に増加していたが、SG有りとはSG無しとの間に有意な差はなかった。主観的疲労感も同様に、回数が増えるにつれて有意に増加していたが、SG有りとはSG無しとの間に有意な差はなかった（図3）。最初と最後の40回分の大腿直筋と前脛骨筋の筋活動量もSG有りとはSG無しの条件間に有意な違いは無かった。運動中の体重当たりの総酸素摂取量及び総二酸化炭素排出量にも条件間で有意な差はなかった。起立-着席のペースについても条件間で有意な差はなかった。

起立-着席運動の前後の比較において、唾液中コルチゾール濃度はSG有り条件で、運動前の値に比べて運動後に有意に増加していたが、SG無し条件では有意な変化はなかった。主観的な指標であるPOMSの各気分の標準得点について、起立-着席運動の前後のデータを比較した。その結果、SG有り条件では「不安・抑うつ」標準得点が訓練前に比べて訓練後に有意に減少したのに対し、SG無し条件では有意な違いはなかった（図4）。

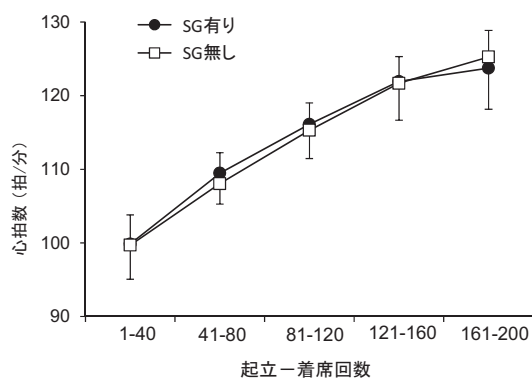


図3. 起立-着席訓練時の心拍数の変化（平均値と標準誤差）

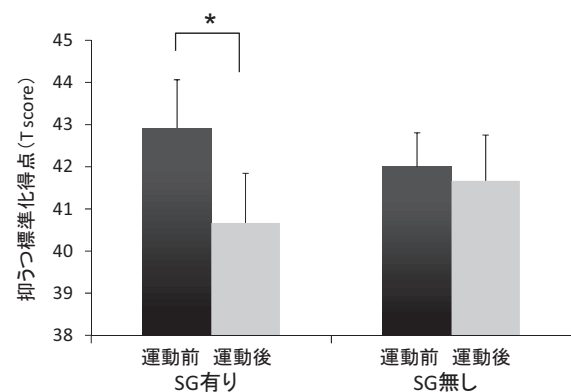


図4. 起立-着席訓練の前後の「不安・抑うつ」標準得点の変化（平均値と標準誤差）

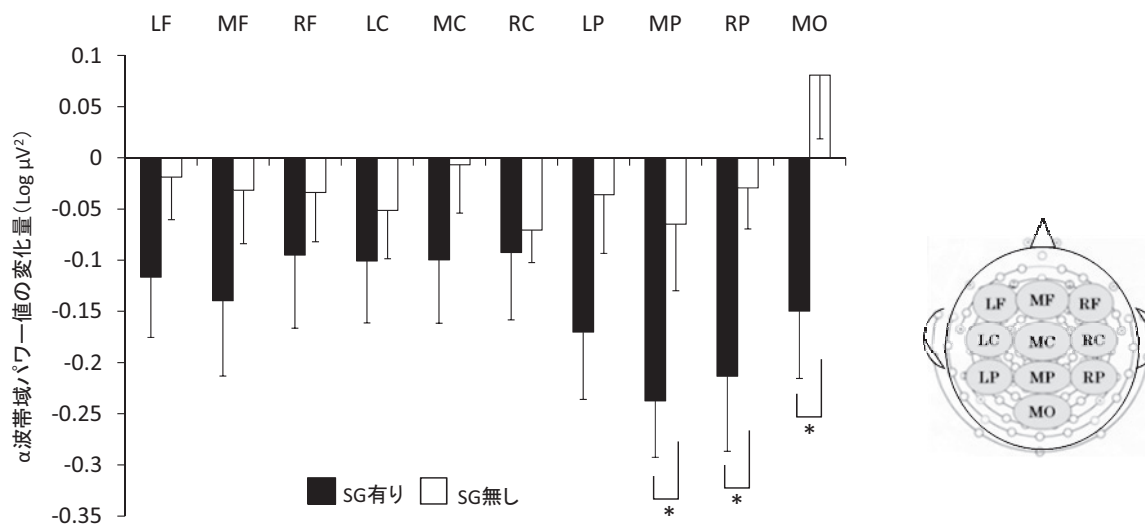


図5. 他者の起立－着席運動を観察している時の α 波帯域パワー値。各部位ごとに安静時からの変化量（平均値と標準誤差）で表示。右図は各部位の頭皮上の位置を示す。

起立－着席運動を観察したときの脳波

安静時を基準とした映像観察時の α 波帯域のパワー値の変化量を図5に示す。頭皮上のほぼ全ての部位で安静時に比べて α 波帯域のパワー値の減少が見られるが、有意な減少が認められた部位はSG有り条件の頭頂の3部位（LP、MP、RP）と後頭部（MO）であった。SG無し条件では安静時に比べて有意な減少は認められなかった。SG有りとSG無しの比較において、頭頂部（MP）と右頭頂部（RP）、後頭部（MO）の α 波パワー値の減少がSG有り条件で無条件に比べて有意に大きかった。

考 察

起立－着席運動中の身体的な負荷を反映する指標である心拍数、総酸素摂取量、総二酸化炭素排出量に条件間で有意な差は認められなかった。また、大腿直筋と前頸骨筋の筋活動量にも条件間で有意な差は認められなかった。これらの結果から、起立－着席運動を行う際にシリアスゲームを使用した場合でも、通常の起立－着席運動と同等の身体的負荷（運動強度と筋活動量）が得られたと考えられる。

心理的な影響を示す指標について、運動前後の気分の変化を測定したところ、SG有り条件において運動の前後で「抑うつ-落込み」の得点が有意に減少した。このことから、シリアスゲームの使用が心理的にポジティブな効果をもたらしたと考えられる。唾液中コルチゾール濃度を条件間および運動の前後で比較した結果、SG有り条件において運動の前後でコルチゾール濃度の有意な上昇が見られた。唾液中のコルチゾールは身体的または心理的ストレスによって上昇することが知られているが、本実験で身体負荷はSG有り条件とSG無し条件の間に有意な差がなかった。従って、今回認められたコルチゾール濃度の増加はSG有り

条件での心理的なストレスが増加したことが原因かもしれない。もしこの反応がゲームの持つ挑戦性を反映しているとしたら、ポジティブな反応として評価できる。

本実験において、SG有りの映像を観察している時に、脳の頭頂部（MP、RP）と後頭部（MO）において有意に α 波帯域パワー値が減少した。これはSG有り条件で脳の頭頂部と後頭部の活動が高まった結果と考えられる。後頭部（MO）は主に視覚野の存在する領域である。SG有りの条件でみられた後頭部の活動（ α 波帯域パワー値の減少）は、シリアスゲームによる視覚的な情報量が増えたことが原因と考えられる。シリアスゲームの影響は後頭部（MO）だけではなく頭頂部（MP、RP）の脳波にも認められた。一次視覚野での情報の一部は背側経路を介して脳の後頭頂葉に伝えられる。この領域は主に視対象物の場所や動きの知覚に関わっていると考えられている。また、頭頂葉の一部で下頭頂小葉（IPL; Inferior Parietal Lobe）と呼ばれる領域は、ヒトのミラーニューロンシステムの一部を担っており、他者の動きを正確に運動感覚としてコードする働きがあるとされている^{6),8)}。本研究で認められた脳活動の変化は、SG有り条件によって付加された視覚刺激への反応と考えられる。また下頭頂小葉の領域における高い脳活動はミラーシステムが働いた結果かもしれない。

以上の二つの実験より、リハビリ訓練用に開発されたシリアスゲームが気分の改善に有効であることがわかった。また、シリアスゲームを行っている人を観察することで、脳の活動が高まることも明らかになった。今回の実験は若年者を対象としたが、今後は高齢者やリハビリが必要な患者に対しての効果検証が求められる。

要 約

本研究はリハビリテーション訓練用に開発されたシリアスゲームの効果について科学的検証を行うことを目的とした。ひとつ目の実験では、健康な男子大学生12名を対象に起立－着席訓練時のシリアスゲームの有無が訓練中の身体活動量（心拍数、酸素摂取量、筋電図）と訓練前後の心理指標へ及ぼす影響について調べた。その結果、シリアスゲームの使用によって、不安・抑うつ度が減少することがわかった。身体的活動量はシリアスゲームの有無による違いは無かった。二つ目の実験では、健康な男子大学生18名を対象に、他者がシリアスゲームを使って起立－着席訓練を行っている姿を観察している時の影響を脳波によって調べた。その結果、シリアスゲームの条件で観察者の後頭葉と頭頂葉の脳活動が高まることが分かった。以上の二つの実験結果より、リハビリ訓練用に開発されたシリアスゲームが利用者の気分の改善に有効であること、リハビリ訓練を行っている他者の観察においてシリアスゲームは観察者の脳活動が高めることが明らかになった。

文 献

- 1) 藤本徹（2007）シリアスゲーム－教育・社会に役立つデジタルゲーム．東京電機大学出版局．

- 2) 高杉紳一郎 (2005) 高齢者ケアとエンターテインメント. コミュニティケア 7(6): 96-99.
- 3) 松隈浩之, 藤岡定, 中島愛, 金子晃介, 梶原治朗, 林田健太, 服部文忠 (2011) 起立-着席訓練のためのリハビリテーション用シリアスゲームの研究開発. 情報処理学会論文誌 53(3):1041-1049.
- 4) Rizzolatti G, Craighero L (2004) The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci* 27: 169-192
- 5) Pineda JA (2005) The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing". *Brain Res Brain Res Rev* 50: 57-68.
- 6) Arnstein D, Cui F, Keysers C, Maurits NM, Gazzola V (2011) mu-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices. *J Neurosci* 31: 14243-14249.
- 7) 末吉可奈, 磯田和生, 久永一郎, ステファニー・オルリック, 樋口重和 (2011) 美術作品の解説映像における手の存在が鑑賞者のミラーニューロンシステムに及ぼす影響. 日本生理人類学会誌 16 特別号(1):162-163.
- 8) Fogassi L, Ferrari PF, Gesierich B, Rozzi S, Chersi F, Rizzolatti G. (2005) Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science* 308(5722):662-667.